

(19) 日本国特許庁(JP)

(12) 特 許 公 報(B2)

(11) 特許番号

特許第6238021号
(P6238021)

(45) 発行日 平成29年11月29日(2017.11.29)

(24) 登録日 平成29年11月10日(2017.11.10)

(51) Int.Cl. F 1
B 2 5 J 19/06 (2006.01) B 2 5 J 19/06

請求項の数 14 (全 30 頁)

(21) 出願番号	特願2015-12725 (P2015-12725)	(73) 特許権者	314012076 パナソニックIPマネジメント株式会社 大阪府大阪市中央区域見2丁目1番61号
(22) 出願日	平成27年1月26日(2015.1.26)	(74) 代理人	100081422 弁理士 田中 光雄
(65) 公開番号	特開2015-157352 (P2015-157352A)	(74) 代理人	100100158 弁理士 鮫島 睦
(43) 公開日	平成27年9月3日(2015.9.3)	(74) 代理人	100091524 弁理士 和田 充夫
審査請求日	平成28年8月25日(2016.8.25)	(72) 発明者	小松 真弓 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
(31) 優先権主張番号	特願2014-11945 (P2014-11945)	(72) 発明者	岡▲崎▼ 安直 大阪府門真市大字門真1006番地 パナソニック株式会社内
(32) 優先日	平成26年1月27日(2014.1.27)		
(33) 優先権主張国	日本国(JP)		

最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 ロボット、ロボットの制御装置及び制御方法、並びに、ロボット用制御プログラム

(57) 【特許請求の範囲】

【請求項1】

複数の関節部を有するロボットアームの先端部の位置情報を取得する位置情報取得部と、
 人が前記ロボットアームにかけている力を検出する第1の力検出部と、
 前記第1の力検出部で検出した力を基に、前記ロボットアームと外界環境との間に前記人若しくは物体が挟まれたか否かを判別する挟み込み判別部と、
 前記先端部が動作する領域を、制限領域と非制限領域に分類する領域分類部と、
 前記ロボットアームの動作に制限をかける時間である制限時間を設定する制限時間設定部と、
 外部から前記ロボットアームが受けている外力を検出又は推定する第2の力検出部とを備え、
 前記挟み込み発生検出後の時間が、前記制限時間内であり、かつ、前記先端部が前記制限領域に位置する場合は、前記複数の関節部に含まれる一以上の関節部に動作制限が課され、前記複数の関節部のうち前記一以上の関節部以外の少なくとも一つの関節部には前記動作制限が課されず、
 前記動作制限は前記一以上の関節部の動作停止であり、
 前記挟み込み検出後の時間が、前記制限時間以降である場合は、前記動作制限が解除され、
 前記挟み込み検出後の時間が、前記制限時間内であり、かつ、前記先端部が前記非制限

領域に位置する場合は、前記複数の関節部に動作制限が課されないとともに、
前記挟み込み判別部は、前記第 1 の力検出部で検出した力と、前記第 2 の力検出部で検出又は推定した、前記外部から前記ロボットアームが受けている外力とに基づき、前記ロボットアームと前記外界環境との間に前記人若しくは前記物体が挟まれたことを判別し、前記挟み込み判別部で挟み込みを判別したとき、前記第 2 の力検出部で検出又は推定した、前記外部から前記ロボットアームが受けている外力に基づき、前記ロボットアームを動作制御させる、ロボット。

【請求項 2】

前記領域分類部は、前記制限領域を有する作業領域のマップを事前に保持している請求項 1 に記載のロボット。

10

【請求項 3】

前記領域分類部は、前記先端部の動作速度を求め、前記先端部の動作速度が速度の閾値より遅い領域を、前記制限領域とする請求項 1 に記載のロボット。

【請求項 4】

前記制限領域は複数の領域を含み、

前記領域分類部は、前記複数の領域ごとに、前記複数の関節部の動作の制限をかける方向の情報を有している方向別領域分類部である、請求項 2 に記載のロボット。

【請求項 5】

前記方向別領域分類部の前記複数の領域の情報と前記関節部の動作の制限をかける方向の情報に基づいて、前記動作の制限をかける関節部が決定される請求項 4 に記載のロボット。

20

【請求項 6】

前記複数の関節部のうち、前記先端部に近い関節部から少なくとも 1 個の関節部は、制限を課されない請求項 1 に記載のロボット。

【請求項 7】

前記制限時間設定部は、前記第 2 の力検出部が検出又は推定した前記外力が大きいほど制限時間を短くする請求項 1 に記載のロボット。

【請求項 8】

さらに、人物体判別部を備え、

前記人物体判別部は、前記位置情報取得部で取得した位置情報と、前記第 2 の力検出部で検出又は推定した、前記外部から前記ロボットアームが受けている外力と、前記挟み込み判別部で判別された情報とを基に、前記ロボットアームの前記先端部と前記外界環境との間に挟み込まれた物質が前記人か前記物体かを判別し、前記人であると判別した場合は、前記制限時間設定部が前記制限時間を、前記物体であると判別した場合よりも小さくする請求項 1 に記載のロボット。

30

【請求項 9】

前記第 2 の力検出部は、前記関節部の駆動装置の電流値と前記位置情報取得部で取得した位置情報とから推定関節トルクを検出又は推定し、

前記人物体判別部は、前記位置情報取得部で取得した位置情報と前記第 2 の力検出部で検出又は推定した前記推定関節トルクとを基に、弾性係数を求め、求められた弾性係数が人判別用第 1 閾値より小さい物質を挟み込んだと判断した場合は、挟み込まれた物質は人であると判別し、前記弾性係数が前記人判別用第 1 閾値以上である物質を挟み込んだと判断した場合は、挟み込まれた物質は物体であると判別する、請求項 8 に記載のロボット。

40

【請求項 10】

前記人物体判別部は、前記第 2 の力検出部で検出又は推定した、前記外部から前記ロボットアームが受ける外力の最大値と最小値との差が、人判別用第 2 閾値以上の場合、挟み込まれた物質を人であると判別する請求項 8 に記載のロボット。

【請求項 11】

前記挟み込み判別部は、前記第 1 の力検出部からの入力が入力が 0 であり前記第 2 の力検出部からの入力が入力が一定値以上の値であるときに、前記挟み込み判別部は挟み込みがあると判別

50

する請求項 7 に記載のロボット。

【請求項 1 2】

複数の関節部を有するロボットアームの先端部の位置情報を取得する位置情報取得部と、
 人が前記ロボットアームにかけている力を検出する第 1 の力検出部と、
 前記第 1 の力検出部で検出した力を基に、前記ロボットアームと外界環境との間に前記人若しくは物体が挟まれたか否かを判別する挟み込み判別部と、
 前記先端部が動作する領域を、制限領域と非制限領域に分類する領域分類部と、
 前記ロボットアームの動作に制限をかける時間である制限時間を設定する制限時間設定部と、
 外部から前記ロボットアームが受けている外力を検出又は推定する第 2 の力検出部とを備え、

前記挟み込み発生検出後の時間が、前記制限時間内であり、かつ、前記先端部が前記制限領域に位置する場合は、前記複数の関節部に含まれる一以上の関節部に動作制限が課され、前記複数の関節部のうち前記一以上の関節部以外の少なくとも 1 つの関節部には前記動作制限が課されず、

前記動作制限は前記一以上の関節部の動作停止であり、

前記挟み込み検出後の時間が、前記制限時間以降である場合は、前記動作制限が解除され、

前記挟み込み検出後の時間が、前記制限時間内であり、かつ、前記先端部が前記非制限領域に位置する場合は、前記複数の関節部に動作制限が課されないとともに、

前記挟み込み判別部は、前記第 1 の力検出部で検出した力と、前記第 2 の力検出部で検出又は推定した、前記外部から前記ロボットアームが受けている外力とに基づき、前記ロボットアームと前記外界環境との間に前記人若しくは前記物体が挟まれたことを判別し、

前記挟み込み判別部で挟み込みを判別したとき、前記第 2 の力検出部で検出又は推定した、前記外部から前記ロボットアームが受けている外力に基づき、前記ロボットアームを動作制御させる、ロボットの制御装置。

【請求項 1 3】

複数の関節部を有するロボットアームの先端部の位置情報を取得するステップと、
 人が前記ロボットアームにかけている力を第 1 の力検出部で検出するステップと、
 前記検出した力を基に、前記ロボットアームと外界環境との間に前記人若しくは物体が挟まれたか否かを判別するステップと、
 前記先端部が動作する領域を、制限領域と非制限領域に分類するステップと、
 前記ロボットアームの動作に制限をかける時間である制限時間を設定するステップと、
 外部から前記ロボットアームが受けている外力を第 2 の力検出部で検出又は推定するステップとを含み、

前記挟み込み発生検出後の時間が、前記制限時間内であり、かつ、前記先端部が前記制限領域に位置する場合は、前記複数の関節部に含まれる一以上の関節部に動作制限が課され、前記複数の関節部のうち前記一以上の関節部以外の少なくとも 1 つの関節部には前記動作制限が課されず、

前記動作制限は前記一以上の関節部の動作停止であり、

前記挟み込み検出後の時間が、前記制限時間以降である場合は、前記動作制限が解除され、

前記挟み込み検出後の時間が、前記制限時間内であり、かつ、前記先端部が前記非制限領域に位置する場合は、前記複数の関節部に動作制限が課されない、

前記第 1 の力検出部で検出した力と、前記第 2 の力検出部で検出又は推定した、前記外部から前記ロボットアームが受けている外力とに基づき、前記ロボットアームと前記外界環境との間に前記人若しくは前記物体が挟まれたことを判別し、

前記挟み込みを判別したとき、前記第 2 の力検出部で検出又は推定した、前記外部から前記ロボットアームが受けている外力に基づき、前記ロボットアームを動作制御させる、

10

20

30

40

50

ロボットの制御方法。

【請求項 1 4】

請求項 1 3 に記載のロボットの制御方法をコンピュータに実行させるためのロボット用制御プログラム。

【発明の詳細な説明】

【技術分野】

【0001】

本開示は、人と協働して作業をアシストするパワーアシスト型のロボット、ロボットの動作を制御するロボットの制御装置及び制御方法、並びに、ロボット用制御プログラムに関する。

10

【背景技術】

【0002】

近年、介護ロボット又は家事支援ロボットなどの家庭用ロボットが盛んに開発されるようになってきた。また、産業用ロボットでも、セル生産工場の広がりなどから、人と協働するロボットの開発が盛んに行われている（特許文献 1 及び 2 参照）。

【先行技術文献】

【特許文献】

【0003】

【特許文献 1】特開平 1 1 - 2 7 7 4 8 3 号公報

【特許文献 2】国際公開第 2 0 0 7 / 0 8 0 7 3 3 号

20

【発明の概要】

【発明が解決しようとする課題】

【0004】

このような人と協働するアシストロボットは、従来のように人間の居るエリアとロボット用の作業エリアとを区切って動作するロボットとは異なり、人間と共生する必要があるため、従来の産業用ロボットなどとは異なり、さらなる安全性が求められている。

【0005】

そこで、本開示は、従来の産業用ロボットなどとは異なり、さらなる安全性に対応可能な、人と協働するパワーアシスト型のロボットを提供する。

【課題を解決するための手段】

30

【0006】

本開示の一態様に係るロボットは、複数の関節部を有するロボットアームの先端部の位置情報を取得する位置情報取得部と、人が前記ロボットアームにかけている力を検出する第 1 の力検出部と、前記第 1 の力検出部で検出した力を基に、前記ロボットアームと外界環境との間に前記人若しくは物体が挟まれたか否かを判別する挟み込み判別部と、前記先端部が動作する領域を、制限領域と非制限領域に分類する領域分類部と、前記ロボットアームの動作に制限をかける時間である制限期間（制限時間）を設定する制限時間設定部と、外部から前記ロボットアームが受けている外力を検出又は推定する第 2 の力検出部とを備え、前記挟み込み発生検出後の時間が、前記制限時間内であり、かつ、前記先端部が前記制限領域に位置する場合は、前記複数の関節部に含まれる一以上の関節部に動作制限が課され、前記複数の関節部のうち前記一以上の関節部以外の少なくとも 1 つの関節部には前記動作制限が課されず、前記動作制限は前記一以上の関節部の動作停止であり、前記挟み込み検出後の時間が、前記制限時間以降である場合は、前記動作制限が解除され、前記挟み込み検出後の時間が、前記制限時間内であり、かつ、前記先端部が前記非制限領域に位置する場合は、前記複数の関節部に動作制限が課されないとともに、前記挟み込み判別部は、前記第 1 の力検出部で検出した力と、前記第 2 の力検出部で検出又は推定した、前記外部から前記ロボットアームが受けている外力とに基づき、前記ロボットアームと前記外界環境との間に前記人若しくは前記物体が挟まれたことを判別し、前記挟み込み判別部で挟み込みを判別したとき、前記第 2 の力検出部で検出又は推定した、前記外部から前記ロボットアームが受けている外力に基づき、前記ロボットアームを動作制御させる。

40

50

【 0 0 0 7 】

これらの概括的かつ特定の態様は、装置、システム、方法、コンピュータプログラム並びに装置、システム、方法及びコンピュータプログラムの任意の組み合わせにより実現してもよい。

【 発明の効果 】

【 0 0 0 8 】

本開示のロボットは、人と協働して作業を行うパワーアシストロボットにおいて、周辺環境への影響を配慮しつつ挟まれ状態から安全に脱出する動作を行うことができる。

【 図面の簡単な説明 】

【 0 0 0 9 】

【 図 1 】本開示の第 1 実施形態におけるロボットシステムの概要を示す図。

【 図 2 】本開示の第 1 実施形態におけるロボットシステムの構成を示す図。

【 図 3 】本開示の第 1 実施形態におけるロボットの制御装置及び制御対象であるロボットの一部を示すブロック図。

【 図 4 A 】本開示の第 1 実施形態における人物体判別部のアルゴリズムの一例を説明するための説明図。

【 図 4 B 】本開示の第 1 実施形態における人物体判別部のアルゴリズムの一例を説明するための説明図。

【 図 5 】本開示の第 1 実施形態における方向別領域分類部の動作を説明するための作業の一例を示すロボットアーム手先経路の断面図。

【 図 6 A 】本開示の第 1 実施形態における方向別領域分類部が記憶する制限方向の一例を示す図。

【 図 6 B 】本開示の第 1 実施形態における方向別領域分類部が記憶する制限方向の一例を示す図。

【 図 7 】本開示の第 2 実施形態におけるロボットの制御装置及び制御対象であるロボットの一部を示すブロック図。

【 図 8 】本開示の第 2 実施形態における領域分類部の動作を説明するための作業の一例を示すロボットアーム手先経路の断面図。

【 図 9 】本開示の第 2 実施形態における領域分類部の動作の一例を示す図。

【 図 1 0 A 】本開示の第 2 実施形態における人物体判別部のアルゴリズムの一例を説明するための説明図。

【 図 1 0 B 】本開示の第 2 実施形態における人物体判別部のアルゴリズムの一例を説明するための説明図。

【 図 1 1 】本開示の第 1 実施形態において弾性係数を求める式を説明するための図。

【 図 1 2 】本開示の知見において説明した、人の挟み込み状態の一例を示す図。

【 図 1 3 】本開示の第 1 実施形態における制限時間設定部のアルゴリズムの一例を示す図。

【 発明を実施するための形態 】

【 0 0 1 0 】

(基礎となった知見)

従来、例えば、物体搬送において、人と協働して作業を行うパワーアシストロボットは、簡単な物体の組み付け作業にも応用が可能である。その場合、搬送物体は、周辺に何もない安全な場所だけを移動するわけではなく、周辺に組み付け先となる他の物体がある可能性が高い。そして、同時にロボットの安全性を高めても、人が介在する以上、人がある程度危険な状況になる可能性は、無視できない。想定できる危険状況の中に、人がロボット若しくはロボットの搬送物体と周辺環境との間に挟まれる状況が考えられる。例えば図 1 2 で示すように、ロボットアーム 2 1 で保持した搬送物体 9 2 を周辺物体 9 5 の中に組み込むような作業をパワーアシストロボットで実現する場合に、最終組み付けで、人が搬送物体 9 2 を少し位置合わせをしようと、ロボットアーム 2 1 に取り付けられたハンドルから手を離し、自らの手で搬送物体 9 2 を触って搬送物体 9 2 の位置合わせをするような状況

10

20

30

40

50

において、搬送物体 9 2 と周辺物体 9 5 との間に手を挟まれてしまうようなケースが考えられる。

【 0 0 1 1 】

しかしながら、特許文献 1 の技術では、手首軸のみしか動かないため、挟まれた状態から脱出できない場合があり、人への安全性に問題がある。また、手首軸のみならず基本軸が可動な状態でも、基本軸と手首軸を含むロボットの可動範囲が小さいため、人が、例えば手を挟まれた状態から素早く脱出できない場合もある。また、特許文献 2 の技術では、狭い空間では、人が、例えば、手を挟まれたとき、動く空間が制限されてしまい、人が脱出出来ない場合がある。また、ロボットアームが動ける方向と予め決められた方向とだけに動いても、人は挟まれた状態から脱出できない場合もある。その場合、ロボット制御装置は人への安全性から、周辺環境への影響以上に人の脱出を優先すべき場合もあるが、ロボット制御装置は対応出来ない。

10

【 0 0 1 2 】

本開示は、従来の産業用ロボットなどとは異なり、さらなる安全性に対応可能な、より具体的には、周辺環境への影響を配慮しつつ挟まれた状態から人を出来る限り素早く安全状態に脱出させるための動作を行うことができる、人と協働するパワーアシスト型のロボット、ロボットの制御装置及び制御方法、並びに、ロボット用制御プログラムを提供する。

【 0 0 1 3 】

以下に、本開示にかかる実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

20

【 0 0 1 4 】

以下、図面を参照して本開示における実施形態を詳細に説明する前に、本開示の種々の態様について説明する。

【 0 0 1 5 】

第 1 の態様によれば、複数の関節部を有するロボットアームの先端部の位置情報を取得する位置情報取得部と、人が前記ロボットアームにかけている力を検出する第 1 の力検出部と、前記第 1 の力検出部で検出した力を基に、前記ロボットアームと外界環境との間に前記人若しくは物体が挟まれたか否かを判別する挟み込み判別部と、前記先端部が動作する領域を、制限領域と非制限領域に分類する領域分類部と、前記ロボットアームの動作に制限をかける時間である制限期間（制限時間）を設定する制限時間設定部を備え、前記挟み込み発生検出後の期間が、前記制限期間内であり、かつ、前記先端部が前記制限領域に位置する場合は、前記複数の関節部に含まれる一以上の関節部に動作制限が課され、前記複数の関節部のうち前記一以上の関節部以外の少なくとも 1 つの関節部には前記動作制限が課されず、前記動作制限は前記一以上の関節部の動作停止であり、前記挟み込み検出後の期間が、前記制限期間以降である場合は、前記動作制限が解除され、前記挟み込み検出後の期間が、前記制限期間内であり、かつ、前記先端部が前記非制限領域に位置する場合は、前記複数の関節部に動作制限が課されない、ロボットを提供する。

30

【 0 0 1 6 】

前記第 1 の態様によれば、人と協働して作業を行うパワーアシスト型のロボットにおいて、周辺環境への影響を配慮しつつ挟まれ状態から安全に脱出する動作を行うことができるロボットが可能となる。

40

【 0 0 1 7 】

第 2 の態様によれば、外部から前記ロボットアームが受けている外力を検出する第 2 の力検出部をさらに備えて、

前記挟み込み判別部は、前記第 1 の力検出部で検出した力と、前記第 2 の力検出部で検出した、前記外部から前記ロボットアームが受けている外力とに基づき、前記ロボットアームと前記外界環境との間に前記人若しくは物体が挟まれたことを判別し、

前記挟み込み判別部で挟み込みを判別したとき、前記第 2 の力検出部で検出した、前記外部から前記ロボットアームが受けている外力に基づき、前記ロボットアームを動作制御させる、

50

第 1 の態様に記載のロボットを提供する。

【 0 0 1 8 】

前記第 2 の態様によれば、第 1 の力検出部では力を検出出来ない場所で挟み込みが発生した場合にも、確実に挟み込みを検出しロボットを動作させることが出来るため、挟まれ状態から安全に脱出する動作を行うことが出来るロボットが可能となる。

【 0 0 1 9 】

第 3 の態様によれば、前記領域分類部は、前記制限領域を有する作業領域のマップを事前に保持している第 1 又は 2 の態様に記載のロボットを提供する。

【 0 0 2 0 】

前記第 3 の態様によれば、マップにより制限領域が判断できるため、制限領域では、周辺環境への影響を配慮しつつ挟まれ状態から安全に脱出する動作を行うことができるロボットが可能となる。

10

【 0 0 2 1 】

第 4 の態様によれば、前記領域分類部は、前記先端部の動作速度を求め、前記先端部の動作速度が速度の閾値より遅い領域を、前記制限領域とする第 1 又は 2 の態様に記載のロボットを提供する。

【 0 0 2 2 】

前記第 4 の態様によれば、前記領域分類部の働きにより、制限領域を予め決定していなくても、先端部の動作速度により、制限領域か、非制限領域かを決定でき、制限領域では、動作させる方向に制限をかけ、かつ制限時間設定部の働きにより、一定の制限時間を超えた後は全ての方向に動作するロボットアームの制御が可能となる。このように、領域分類部が先端部の動作速度から周辺環境への影響を推定し、制限をかける範囲(領域)か制限をかけない範囲(領域)かを決定することで、事前に作業領域のマップを持たない場合でも制御を実現することが可能となる。

20

【 0 0 2 3 】

第 5 の態様によれば、前記制限領域は複数の領域を含み、前記領域分類部は、前記複数の領域ごとに、前記複数の関節部の動作の制限をかける方向の情報に有している方向別領域分類部である、第 3 の態様に記載のロボットを提供する。

【 0 0 2 4 】

前記第 5 の態様によれば、複数の領域ごとにおいて限定された方向のみ制限をかけることが可能となるため、周辺環境への影響を配慮しつつ挟まれ状態からより安全に脱出する動作を行うことができるロボットが可能となる。

30

【 0 0 2 5 】

第 6 の態様によれば、前記方向別領域分類部の前記複数の領域の情報と前記関節部の動作の制限をかける方向の情報に基づいて、前記動作の制限をかける関節部が決定される第 5 の態様に記載のロボットを提供する。

【 0 0 2 6 】

前記第 6 の態様によれば、制限をかける領域において制限をかける関節のみ制限をかけることが可能となるため、周辺環境への影響を配慮しつつ挟まれ状態からより安全に脱出する動作を行うことができるロボットが可能となる。

40

【 0 0 2 7 】

第 7 の態様によれば、前記複数の関節部のうち、前記先端部に近い関節部から少なくとも 1 個の関節部は、制限を課されない第 1 の態様に記載のロボットを提供する。

【 0 0 2 8 】

前記第 7 の態様によれば、制限をかける領域において限定された関節のみ制限をかけることが可能となるため、周辺環境への影響を配慮しつつ、同時に、先端部に近い関節部から少なくとも 1 個の関節部は制限がかからないため、挟まれ状態から安全に脱出する動作を行うことができるロボットが可能となる。

【 0 0 2 9 】

第 8 の態様によれば、前記制限時間設定部は、前記第 2 の力検出部が検出した前記外力

50

が大きいほど制限時間を短くする第2の態様に記載のロボットを提供する。

【0030】

前記第8の態様によれば、外力が大きいときはより強く脱出する必要があるととらえ、そのようなときは、早く制限が解除されるため挟まれ状態からより早く脱出出来ることが可能となるため、挟まれ状態から安全に脱出動作を行うことが出来るロボットが可能となる。

【0031】

第9の態様によれば、さらに、人物体判別部を備え、

前記人物体判別部は、前記位置情報取得部で取得した位置情報と、前記第2の力検出部で検出した、前記外部から前記ロボットアームが受けている外力と、前記挟み込み判別部で判別された情報とを基に、前記ロボットアームの前記先端部と前記外界環境との間に挟み込まれた物質が人か物体かを判別し、前記人であると判別した場合は、前記制限時間設定部が前記制限時間を、前記物体であると判別した場合よりも小さくする第2の態様に記載のロボットを提供する。

10

【0032】

前記第9の態様によれば、人物体判別部の働きにより、人が挟まれたと判別したときには制限時間を短く、人以外の物体が挟まれた判別したときには制限時間を長くする動作が可能となる。この動作により、挟み込みが発生したときには、まず、先端部で保持する搬送物体が周辺環境等に衝突しない範囲で力制御を実現することで、挟み込まれた人若しくは物体が挟み込み状態から脱出出来る方向に動作することが出来る。また、人への安全を

20

【0033】

第10の態様によれば、前記第2の力検出部は、前記関節部の駆動装置の電流値と前記位置情報取得部で取得した位置情報とから推定関節トルクを推定し、

前記人物体判別部は、前記位置情報取得部で取得した位置情報と前記第2の力検出部で推定した前記推定関節トルクとを基に、弾性係数を求め、求められた弾性係数が人判別用第1閾値より小さい物質を挟み込んだと判断した場合は、挟み込まれた物質は人であると判別し、前記弾性係数が前記人判別用第1閾値以上である物質を挟み込んだと判断した場合は、挟み込まれた物質は物体であると判別する、第9の態様に記載のロボットを提供する。

30

【0034】

前記第10の態様によれば、人物体判別部の働きにより、人が挟まれたと判別したときには制限時間を短く、人以外の物体が挟まれた判別したときには制限時間を長くする動作が可能となる。この動作により、挟み込みが発生したときには、まず、先端部で保持する搬送物体が周辺環境等に衝突しない範囲で力制御を実現することで、挟み込まれた人若しくは物体が挟み込み状態から脱出出来る方向に動作することが出来る。また、人への安全をより高めたロボット動作が可能となる。

【0035】

第11の態様によれば、前記人物体判別部は、前記第2の力検出部で検出した、前記外部から前記ロボットアームが受ける外力の最大値と最小値との差が、人判別用第2閾値以上に大きい場合は、挟み込まれた物質を人であると判別する第9の態様に記載のロボットを提供する。

40

【0036】

前記第11の態様によれば、人物体判別部の働きにより、人が挟まれたと判別したときには制限時間を短く、人以外の物体が挟まれた判別したときには制限時間を長くする動作が可能となる。この動作により、挟み込みが発生したときには、まず、先端部で保持する搬送物体が周辺環境等に衝突しない範囲で力制御を実現することで、挟み込まれた人若しくは物体が挟み込み状態から脱出出来る方向に動作することが出来る。また、人への安全をより高めたロボット動作が可能となる。

【0037】

50

第 1 2 の態様によれば、前記挟み込み判別部は、前記第 1 の力検出部からの入力が 0 であり前記第 2 の力検出部からの入力が一定値以上の値であるときに、前記挟み込み判別部は挟み込みがあると判別する第 8 の態様に記載のロボットを提供する。

【 0 0 3 8 】

前記第 1 2 の態様によれば、第 1 の力検出部では力を検出出来ない場所で挟み込みが発生した場合に確実に挟み込みを検出しロボットを動作させることが出来、かつ第 1 の力検出部で力を検出出来る場合は、通常動作において、挟まれ状態から安全に脱出する動作を行うことが出来るロボットが可能となるため、周辺環境への影響を配慮しつつ挟まれ状態からより安全に脱出する動作を行うことができるロボットの動作が可能となる。

【 0 0 3 9 】

第 1 3 の態様によれば、複数の関節部を有するロボットアームの先端部の位置情報を取得する位置情報取得部と、人が前記ロボットアームにかけている力を検出する第 1 の力検出部と、前記第 1 の力検出部で検出した力を基に、前記ロボットアームと外界環境との間に前記人若しくは物体が挟まれたか否かを判別する挟み込み判別部と、前記先端部が動作する領域を、制限領域と非制限領域に分類する領域分類部と、前記ロボットアームの動作に制限をかける時間である制限期間を設定する制限時間設定部を備え、前記挟み込み発生検出後の期間が、前記制限期間内であり、かつ、前記先端部が前記制限領域に位置する場合は、前記複数の関節部に含まれる一以上の関節部に動作制限が課され、前記複数の関節部のうち前記一以上の関節部以外の少なくとも 1 つの関節部には前記動作制限が課されず、前記動作制限は前記一以上の関節部の動作停止であり、前記挟み込み検出後の期間が、前記制限期間以降である場合は、前記動作制限が解除され、前記挟み込み検出後の期間が、前記制限期間内であり、かつ、前記先端部が前記非制限領域に位置する場合は、前記複数の関節部に動作制限が課されない、ロボットの制御装置を提供する。

【 0 0 4 0 】

前記第 1 3 の態様によれば、人と協働して作業を行うパワーアシスト型のロボットの制御装置において、周辺環境への影響を配慮しつつ挟まれ状態から安全に脱出する動作を行うことができるロボットの制御装置が可能となる。

【 0 0 4 1 】

第 1 4 の態様によれば、複数の関節部を有するロボットアームの先端部の位置情報を取得するステップと、人が前記ロボットアームにかけている力を検出するステップと、前記検出した力を基に、前記ロボットアームと外界環境との間に前記人若しくは物体が挟まれたか否かを判別するステップと、前記先端部が動作する領域を、制限領域と非制限領域に分類するステップと、前記ロボットアームの動作に制限をかける時間である制限期間を設定するステップを含み、前記挟み込み発生検出後の期間が、前記制限期間内であり、かつ、前記先端部が前記制限領域に位置する場合は、前記複数の関節部に含まれる一以上の関節部に動作制限が課され、前記複数の関節部のうち前記一以上の関節部以外の少なくとも 1 つの関節部には前記動作制限が課されず、前記動作制限は前記一以上の関節部の動作停止であり、前記挟み込み検出後の期間が、前記制限期間以降である場合は、前記動作制限が解除され、前記挟み込み検出後の期間が、前記制限期間内であり、かつ、前記先端部が前記非制限領域に位置する場合は、前記複数の関節部に動作制限が課されない、ロボットの制御方法を提供する。

【 0 0 4 2 】

前記第 1 4 の態様によれば、人と協働して作業を行うパワーアシスト型のロボットの制御方法において、周辺環境への影響を配慮しつつ挟まれ状態から安全に脱出する動作を行うことができるロボットの制御方法が可能となる。

【 0 0 4 3 】

第 1 5 の態様によれば、第 1 4 の態様のロボットの制御方法をコンピュータに実行させるためのロボット用制御プログラムを提供する。

【 0 0 4 4 】

前記第 1 5 の態様によれば、人と協働して作業を行うパワーアシスト型のロボットの制

10

20

30

40

50

御プログラムにおいて、周辺環境への影響を配慮しつつ挟まれ状態から安全に脱出する動作を行うことができるロボットのロボット用制御プログラムが可能となる。

【 0 0 4 5 】

以下に、本開示にかかる実施の形態を図面に基づいて詳細に説明する。

【 0 0 4 6 】

(第1実施形態)

図1は、本開示の第1実施形態にかかるロボットシステム100の概要を示す図である。

【 0 0 4 7 】

ロボットシステム100のロボット20は、ロボットアーム21を備えるとともに、人91がロボットアーム21に力を伝達するためのハンドル22をロボットアーム21の手先に備えている。また、物体92を保持するための吸着パッド93をロボットアーム21の手先(先端)に備えている。人91がハンドル22に力をかけると、人91がハンドル22にかけている力を第1力検出部23で検出し、検出した力に応じてロボットアーム21が動作し、物体搬送等の作業支援パワーアシスタアームとして動作することができる。ロボットアーム21の先端には、吸着パッド93を備えており、吸着パッド93により物体92を保持することで物体搬送が可能となる。本明細書では、ロボットアーム21の先端と吸着パッド93とを含めてロボットアーム21の先端部と称する。

【 0 0 4 8 】

図2は、本開示の第1実施形態にかかるロボットシステム100の構成を示す図である。

【 0 0 4 9 】

ロボットシステム100は、制御装置50と、制御装置50の制御対象であるロボット20とにより構成されている。

【 0 0 5 0 】

制御装置50は、この第1実施形態では、一例として、一般的なパーソナルコンピュータにより構成されており、制御装置50は、制御プログラム40と、入出力IF41とで構成されている。

【 0 0 5 1 】

入出力IF(インターフェース)41は、パーソナルコンピュータのPCIバスなどの拡張スロットに接続された、例えば、D/Aボードと、A/Dボードと、カウンタボードなどを備えるように構成されている。

【 0 0 5 2 】

制御装置50は、入力部の一例としての入出力IF41を介して、ロボット機構部6の各リンクマニピュレータを駆動するモータドライバ42と接続され、そのモータドライバ42に制御装置50から制御信号を送る。

【 0 0 5 3 】

ロボット20は、前記したように、ロボットアーム21を備えている。ロボットアーム21の構造については後述する。

【 0 0 5 4 】

ロボットアーム21の動作を制御する制御装置50の制御動作が実行されることにより、ロボットアーム21の各関節部の後述するエンコーダ7より出力される各関節角度情報(回転位相角など)を検出し、検出した各関節角度情報が入出力IF41のカウンタボードを通じて制御装置50に取り込まれ、取り込まれた各関節角度情報に基づき制御装置50によって各関節部の回転動作での制御指令値が算出される。算出された各制御指令値は、入出力IF41のD/Aボードを通じて、ロボットアーム21の各関節部を駆動制御するためのモータドライバ42に与えられ、モータドライバ42から送られた各制御指令値に従って、ロボットアーム21の各関節部の駆動装置の一例としてのモータ19がそれぞれ独立して駆動される。このモータドライバ42とモータ19とで駆動部の一例として機能する。また、エンコーダ7は、角度情報(回転位相角など)を出力する角度検出部の一

10

20

30

40

50

例として機能する。言い換えれば、エンコーダ7は、ロボットアーム21の手先（先端の一例）の位置情報を取得する位置情報取得部として機能する。モータドライバ42には、モータ19に流れている電流の大きさを検出する電流検出部8が内蔵されている。電流検出部8は、後述するように、負荷トルク推定部13と協働して第2の力情報（外部からロボットアーム21が受けている外力の力情報）を検出する第2の力検出部としても機能する。第1の力検出部と第2の力検出部は、共に、力検出部の一例として機能する。

【0055】

ロボットアーム21は、一例として、台部34も含めて6自由度の多リンクマニピュレータであり、先端（手先）の手首部31には、力センサ23を介してハンドル22と吸着パッド93との取り付けが可能である。ロボットアーム21は、手首部31と、手首部31を先端に有する第2リンク32と、第2リンク32の基端を先端に回転可能に連結する第1リンク33と、第1リンク33の基端が回転可能に連結支持された第2関節支柱35と、第2関節支柱35が取り付けられかつ床90に固定される台部34とを備えている。さらに、人91が手でハンドル22に加えた力を計測するために、手首部31の先端に、第1力検出部の一例である力センサ23を介してハンドル22は取り付けられている。また、同じく、手首部31の先端には、物体92を保持するための吸着パッド93を備えている。

【0056】

手首部31は、第4関節部27と、第5関節部28と、第6関節部29との3つの回転軸を有しており、第2リンク32に対するハンドル22の相対的な姿勢（向き）を変化させることができる。第2リンク32の基端は、第1リンク33の先端に対して第3関節部26周りに回転可能とする。第1リンク33の基端は、第2関節支柱35に対して第2関節部25周りに回転可能とする。台部34の上側可動部34aは、台部34の下側固定部34bに対して第1関節部24周りに回転可能とする。

【0057】

この結果、ロボットアーム21は、第1関節部24から第6関節部29の合計6個の回転軸周りにそれぞれ独立して回転可能として、前記6自由度の多リンクマニピュレータを構成している。

【0058】

各回転軸の回転部分を構成する各関節部には、各関節部を構成する一対の部材（例えば、回動側部材と、該回動側部材を支持する支持側部材）のうちの一方の部材に備えられ、かつ後述するモータドライバ42により駆動制御される回転駆動装置の一例としてのモータ19（実際には、ロボットアーム21の各関節部の内部に配設されている）と、モータ19の回転軸の回転位相角（すなわち、関節角）を検出するエンコーダ7（実際には、ロボットアーム21の各関節部の内部に配設されている）とを備える。よって、各関節部を構成する一方の部材に備えられたモータ19の回転軸が、各関節部の他方の部材に連結されて前記回転軸を正逆回転させることにより、他方の部材を一方の部材に対して各回転軸周りに回転可能とする。

【0059】

図3は、本開示の第1実施形態にかかるロボット20の制御装置50及び制御対象であるロボット20の一部を示すブロック図である。

【0060】

ロボット20の制御装置50は、目標軌道生成部1と、目標角加速度計算部2と、目標関節トルク計算部3と、逆運動学計算部4と、角度誤差補償部5と、角度誤差計算部9と、修正角加速度計算部10と、目標軌道加算部11と、挟み込み検知部12と、第1力制御部14と、第2力制御部16と、人物体判別部49と、制限時間設定部51と、領域分類部の一例としての方向別領域分類部（第1領域分類部）52と、挟み込み時目標値加算部53と、関節制限部54とを備えて構成している。第1力制御部14と第2力制御部16とは、力制御部の一例として機能する。

【0061】

10

20

30

40

50

挟み込み検知部 12 は、負荷トルク推定部 13 と、挟み込み判別部 15 とを備えて構成している。

【0062】

また、ロボット 20 は、ロボットアーム 21 で構成されるロボット機構部 6 と、エンコーダ 7 と、電流検出部 8 と、第 1 力検出部の一例である力センサ 23 とを備えて構成している。また、制御装置 50 に対しては、エンコーダ 7 で計測されたロボット 20 からの関節角度情報と、力センサ 23 で計測された第 1 の力情報（力ベクトル F ）とが入力される。この第 1 の力情報は、人 91 がハンドル 22 を介してロボットアーム 21 にかけた力である。

【0063】

目標軌道生成部 1 は、ロボットに実現させる作業の目標軌道に沿ったロボット 20 の動作を実現するための目標位置ベクトル r_d を目標軌道加算部 11 に出力する。目標とするロボット 20 の動作は、目的とする作業動作に応じて、事前に、それぞれの時間 t ($t = 0$ 、 $t = t_1$ 、 $t = t_2$ 、 \dots) でのポイントごとの目標位置 $r_{dt} = [r_{dt1}, r_{dt2}, r_{dt3}, r_{dt4}, r_{dt5}, r_{dt6}]^T$ (r_{d0} 、 r_{d1} 、 r_{d2} 、 \dots) が目標軌道生成部 1 内の記憶部に記録されている。そして、目標位置生成部 1 は、それぞれの時間 ($t = 0$ 、 $t = t_1$ 、 $t = t_2$ 、 \dots) でのポイントごとの位置 (r_{d0} 、 r_{d1} 、 r_{d2} 、 \dots) の情報を基に多項式補間を使用し、各ポイント間の軌道を補完し、目標位置ベクトル $r_d = [r_{d1}, r_{d2}, r_{d3}, r_{d4}, r_{d5}, r_{d6}]^T$ を生成する。

【0064】

第 1 力制御部 14 は、ロボット 20 の力センサ 23 の出力である第 1 の力情報（力ベクトル F ）を基に、修正目標位置ベクトル r_{dF} を算出して、目標軌道加算部 11 に出力する。第 1 力制御部 14 は、インピーダンス制御法又はコンプライアンス制御法等の力制御手法により、目標位置ベクトル r_{dF} を算出する。人 91 がロボットアーム 21 に取り付けられたハンドル 22 にかけた力を、第 1 力検出部の一例である力センサ 23 で検出し、検出した力を基に第 1 力制御部 14 が修正目標位置ベクトル r_{dF} を算出して出力する。このような方法で、人 91 がかけた力の方向にロボットアーム 21 が動作する、人協調動作を実現することができる。

【0065】

目標軌道加算部 11 は、目標軌道生成部 1 から出力された目標位置ベクトル r_d と第 1 力制御部 14 から出力された修正目標位置ベクトル r_{dF} を加算して修正目標位置ベクトル r_{dm} を求め、修正目標位置ベクトル r_{dm} を逆運動学計算部 4 に出力する。

【0066】

逆運動学計算部 4 は、目標軌道加算部 11 から出力された修正目標位置ベクトル r_{dm} が入力され、目標角度ベクトル q_d を計算で求めて、挟み込み時目標値加算部 53 に出力する。目標角度ベクトル q_d は、ロボット 20 の幾何学情報から計算される。

【0067】

負荷トルク推定部 13 は、電流検出部 8 の出力である各モータ 19 の電流値とエンコーダ 7 から出力された各関節角度情報とから、各モータ 19 によって発生しているトルク（推定関節トルク）を推定し、それにより、ロボットアーム 21 が外部から受けている力を推定（検出）する。推定した力は、第 2 の力情報として、挟み込み判別部 15 と、第 2 力制御部 16 と人物体判別部 49 と第 2 力制御部 16 とに出力する。

【0068】

各モータ 19 の発生トルク τ_m は、電流検出部 8 において検出した電流値を

【0069】

【数 1】

$$i_N \quad (\text{ただし } N \text{ は関節部番号})$$

【0070】

10

20

30

40

50

とし、各回転軸のトルク係数を

【 0 0 7 1 】

【数 2】

Kt_N (ただし、Nは関節部番号)

【 0 0 7 2 】

とすると、一般的に

【 0 0 7 3 】

【数 3】

$$\tau_{mN} = Kt_N \cdot i_N$$

10

【 0 0 7 4 】

によって求めることが出来る。なお、 τ_{mN} とは、N番目の関節部の回転軸のモータ19が発生しているトルクを意味する。

【 0 0 7 5 】

次に、各回転軸のモータ19が発生しているトルク τ_m からロボットアーム21にかかっている重力を減算して、ロボットアーム21に外部から受けているトルク τ_h を外部から受けていると負荷トルク推定部13で推定する。

【 0 0 7 6 】

【数 4】

20

$$\tau_h = \tau_m - g(q)$$

ここで、 τ_m は各回転軸のモータ19が発生しているトルクであり、

【 0 0 7 7 】

【数 5】

q

【 0 0 7 8 】

はエンコーダ7から入力された各回転軸の角度情報であり、

【 0 0 7 9 】

【数 6】

30

$g(q)$

【 0 0 8 0 】

はロボットアーム21にかかる重力項である。

【 0 0 8 1 】

出力する第2の力情報は、各関節部に外部からかかっているトルクで表現されるため、

【 0 0 8 2 】

【数 7】

$$\tau_h = [\tau_{h1}, \tau_{h2}, \tau_{h3}, \tau_{h4}, \tau_{h5}, \tau_{h6}]^T$$

40

となる。ただし、 τ_{hn} のnは関節部番号である。

【 0 0 8 3 】

各モータ19は、ロボットアーム21の動作時には、以下の式で表すトルクを出力している。

【 0 0 8 4 】

【数 8】

$$\tau = M(q) \cdot \ddot{q}^* + C(q, \dot{q}) + g(q)$$

【 0 0 8 5 】

【数 9】

$M(q)$ 及び $C(q, \dot{q})$

は、それぞれ、搬送物体 9 2 及びロボット 2 0 のダイナミクスパラメータからなる係数行列であり、

【 0 0 8 6 】

【数 1 0】

\ddot{q}^*

【 0 0 8 7 】

は角加速度である。負荷トルク推定部 1 3 において、各関節部にかかっているトルクを推定するときは挟み込みが発生しているときなので、ロボットアーム 2 1 はほぼ静止していると考えられる。静止状態で各モータ 1 9 が出力しているトルクは、重力項のみであり、以下の式で表される。

【 0 0 8 8 】

【数 1 1】

$\tau = g(q)$

【 0 0 8 9 】

よって、各回転軸のモータ 1 9 が発生しているトルク τ_m から重力項を減じることにより、モータ 1 9 がロボットアーム 2 1 を静止状態に保つためのトルク以上に出力しているトルクが負荷トルク推定部 1 3 で算出でき、これが外部から受けているトルクと負荷トルク推定部 1 3 で推定できる。

【 0 0 9 0 】

挟み込み判別部 1 5 は、力センサ 2 3 から入力される第 1 の力情報 F と負荷トルク推定部 1 3 から入力される第 2 の力情報とから、ロボットアーム 2 1 と外界環境との間に人 9 1 を含む何らかの物体が挟み込まれているかどうかを判別する。挟み込みが発生したと挟み込み判別部 1 5 で判別した場合は、挟み込み判別部 1 5 から、挟み込み信号と挟み込みが発生している関節部番号とを第 2 力制御部 1 6 と人物体判別部 4 9 とに出力する。

【 0 0 9 1 】

ここでの挟み込みとは、人 9 1 若しくは物体がロボットアーム 2 1 と外界環境との間に挟み込まれ、かつ、人 9 1 がその挟み込まれた状態を簡単に解除できない状態のことを指す。すなわち、何らかの挟み込みが発生していても、ハンドル 2 2 に人 9 1 が力をかけている場合、作業に必要な意図的な挟み込みである可能性があること、又は、仮に意図しない挟み込みであっても人 9 1 がハンドル 2 2 に適切な力をかけることによって挟み込み状態から人 9 1 などが脱出可能であるため、ハンドル 2 2 に力がかかっている場合は、挟み込みが発生したとは挟み込み判別部 1 5 で判別しない。

【 0 0 9 2 】

挟み込み判別部 1 5 は、まず、力センサ 2 3 から入力されている力ベクトル F が事前に定めた閾値以上のときは、ハンドル 2 2 に人 9 1 が力をかけている状態と判断し、挟み込みは発生していないと判別する。挟み込み判別部 1 5 は、力センサ 2 3 から入力されている力ベクトル F が挟み込み判別用第 1 閾値よりも小さく（例えば、「0」であり）、かつ負荷トルク推定部 1 3 から出力された第 2 の力情報の各要素の全てが、事前に定めた挟み込み判別用第 2 閾値よりも小さいときは、ロボットアーム 2 1 に外部から力はかかっていると判断し、挟み込みは発生していないと判別する。挟み込み判別部 1 5 は、力センサ 2 3 から入力されている力ベクトル F が、挟み込み判別用第 1 閾値よりも小さく、かつ負荷トルク推定部 1 3 から出力された第 2 の力情報の各要素のうち一つの要素でも、事前に定めた挟み込み判別用第 2 閾値以上のときは、挟み込みが発生していると判別する。挟み込みが発生していると挟み込み判別部 1 5 で判別した場合は、どの関節部で発生しているかも、挟み込み判別部 1 5 から第 2 力制御部 1 6 と人物体判別部 4 9 とに出力する。よ

10

20

30

40

50

て、挟み込み判別部 15 は、力センサ 23 からの入力が入力値が 0 であり（一定値未満の値であり）、かつ第 2 の力検出部の一部である負荷トルク推定部 13 からの入力が入力値が一定値以上の値であるときに、挟み込み判別部 15 は挟み込みがあると判別する。挟み込みが発生している関節部は、事前に定めた閾値以上の大きいトルクが発生している関節部のうち最も関節部番号が大きい関節部とする。これは、例えば図 2 において、第 3 関節部 26 において挟み込みが発生している、すなわち、第 2 リンク 32 に対して矢印 a の方向に力がかかっている状況において、外部からロボットアーム 21 にかけている力によって発生する各関節部の負荷トルクは、第 3 関節部 26 と、第 2 関節部 25 と、第 1 関節部 24 との 3 つの関節部に発生し、第 2 リンク 32 よりも手先に近い第 4 関節部 27 と、第 5 関節部 28 と、第 6 関節部 27 とには発生しない。よって、閾値以上の大きな負荷トルクが発生している関節部のうち、最も手先に近い関節部で挟み込みが発生している、と挟み込み判別部 15 で推定出来る。

10

【0093】

人物体判別部 49 は、エンコーダ 7 から入力された角度情報と負荷トルク推定部 13 から入力された第 2 の力情報と挟み込み判別部 15 から入力された挟み込み信号とを基に、挟み込まれた物が人か、人ではない物体か、を判別する。判別結果は、人物体判別部 49 から制限時間設定部 51 に出力する。

【0094】

人物体判別部 49 は、常に、予め事前に実験等で定めた時間分（例えば 1 秒）の角度情報及び第 2 の力情報を、人物体判別部 49 の内部に有するメモリなどの記憶装置 49m に記憶していく。この結果、常に、1 秒前から現在（制御を行う時点）までの角度情報及び第 2 の力情報が記憶されている状態になる。挟み込み判別部 15 から挟み込み信号が入力された場合、1 秒前からの情報、及び、挟み込み信号が入力されてからの所定の時間分の情報を基に、人か物体かの判別を行う。挟み込み信号が入力されてからの所定の時間も予め実験等で定めておき、例えば 0.5 秒とする。

20

【0095】

これについて、図 4A 及び図 4B を基に具体的に説明する。図 4A の上段のグラフは時間と角度情報との関係を示し、中段のグラフは時間と第 2 の力情報との関係を示し、下段のグラフは時間と挟み込み信号との関係を示す。図 4B も、上段のグラフは時間と角度情報との関係を示し、中段のグラフは時間と第 2 の力情報との関係を示し、下段のグラフは時間と挟み込み信号との関係を示す。ここで、図 4A は人と判別される例である。t = 0 の時刻において挟み込み信号（グラフでは「1」の値）が入力されるため、人物体判別部 49 の記憶装置 49m には、t = -1 の時刻から t = 0 の時刻までの角度情報及び第 2 の力情報が記憶されている。また、挟み込み信号が入力されてから 0.5 秒後となる t = 0.5 の時刻までの情報を使用する。図 4A の第 2 の力情報及び関節情報は、挟み込み判別部 15 から入力されかつ挟み込みが発生していると推定された関節部のトルク及び角度である。挟み込まれた物質（物体又は人）の弾性係数 K を人物体判別部 49 で計算するため、以下の式を用いる。

30

【0096】

【数 12】

$$K = \left| \frac{\tau_{n2} - \tau_{n1}}{q_{n2} - q_{n1}} \right|$$

40

ただし、n は挟み込みが発生している関節部番号、 τ_{n2} は t = 0.5 の時刻での推定関節トルク、 τ_{n1} は t = -1 の時刻での推定関節トルク、 q_{n2} は t = 0.5 の時刻でのエンコーダ 7 より出力される関節角度、 q_{n1} は t = -1 の時刻でのエンコーダ 7 より出力される各関節角度である。

【0097】

図 11 を用いて、弾性係数 K を求める式を説明する。推定関節トルクでは、その先のリ

50

リンク 60 のどこで挟み込みが発生しているかはわからないので、仮にリンク 60 の関節軸（回転軸）61 の軸中心から長さ l の部分で挟み込みが発生したとする。ここで、挟み込みが発生する直前にエンコーダ 7 より出力される関節角度が q_{n1} に相当し、挟み込みが発生して物体 62 に力がかかっている状態でエンコーダ 7 より出力される関節角度が q_{n2} に相当する。また、挟み込みが発生する直前の推定関節トルクが τ_{n1} に相当し、挟み込みが発生して物体 62 に力がかかっている状態の推定関節トルクが τ_{n2} に相当する。挟み込み時の関節角度の変化は小さいと考えられるため、挟み込み前後で物体 62 とリンク 60 との接触点の位置はほとんど変わらず、どちらも関節軸 61 から長さ l の部分だとすると、挟み込みによってリンク 60 から物体 62 にかかれた力は、

【 0 0 9 8 】

【数 1 3】

$$|l \cdot \tau_{n2} - l \cdot \tau_{n1}|$$

【 0 0 9 9 】

で表すことが出来る。

【 0 1 0 0 】

また、挟み込みによって物体 62 が縮んだ量は、リンク 60 の長さ l の部分の変位量に相当するため、

【 0 1 0 1 】

【数 1 4】

$$|l \cdot \sin(q_{n2} - q_{n1})|$$

【 0 1 0 2 】

で表すことが出来る。ここで、挟み込み時の関節角度の変化は小さいため、

【 0 1 0 3 】

【数 1 5】

$$|l \cdot \sin(q_{n2} - q_{n1})| = |l \cdot (q_{n2} - q_{n1})|$$

【 0 1 0 4 】

と近似できる。

【 0 1 0 5 】

よって、物体 62 の弾性係数 K は

【 0 1 0 6 】

【数 1 6】

$$K = \frac{|l \cdot \tau_{n2} - l \cdot \tau_{n1}|}{|l \cdot \sin(q_{n2} - q_{n1})|} = \frac{|l \cdot (\tau_{n2} - \tau_{n1})|}{|l \cdot (q_{n2} - q_{n1})|} = \frac{|\tau_{n2} - \tau_{n1}|}{|q_{n2} - q_{n1}|}$$

【 0 1 0 7 】

で求めることが出来る。

【 0 1 0 8 】

前記式で計算した弾性係数 K が、事前に定めた人判別用第 1 閾値よりも小さいときに、人物体判別部 49 で人であると判別する。人物体判別部 49 により人であると判別したときは、人判別信号を人物体判別部 49 から制限時間設定部 51 に出力する。

【 0 1 0 9 】

図 4 B は物体と判別される例である。 $t = 0$ の時刻において挟み込み信号（グラフでは「1」の値）が入力されるため、人物体判別部 49 の記憶装置 49 m には、 $t = -1$ から $t = 0$ までの角度情報及び第 2 の力情報が記憶されている。また、挟み込み信号が入力されてから 0.5 秒後となる $t = 0.5$ までの情報を使用する。図 4 A と同様に、弾性係数 K を人物体判別部 49 で計算すると、閾値以上に大きくなり、人よりも堅いため、物体で

10

20

30

40

50

あると人物体判別部 4 9 で判別する。人物体判別部 4 9 により物体であると判別したときは、物体判別信号を人物体判別部 4 9 から制限時間設定部 5 1 に出力する。また、人であると判別したか物体であると判別したかに関わらず、挟み込みが発生して物体に力がかかっている状態での力、すなわち図 1 1 における、力がかかっている状態の推定関節トルク n_2 も、人物体判別部 4 9 から制限時間設定部 5 1 に出力する。

【 0 1 1 0 】

制限時間設定部 5 1 は、人物体判別部 4 9 から入力された人が物体かの判別信号と、挟み込みによって発生した力とを基に、予め決められた制限時間（制限期間）を関節制限部 5 4 に出力する。

【 0 1 1 1 】

図 1 3 は、制限時間設定部 5 1 のアルゴリズムの一例を説明する説明図である。制限時間設定部 5 1 は、挟み込まれた物が物体か人か、また、挟み込みによって発生した力が予め決められた閾値以上か未満かによって、制限時間をそれぞれ記憶している。この制限時間は、関節制限部 5 4 が、挟み込みが発生後の力制御を行う際に動作する関節部に制限（動作制限）をかける時間である。よって、人が挟まれたと人物体判別部 4 9 で判別した場合は、人への安全性を重視して、制限時間設定部 5 1 により、制限時間を短く設定してある。逆に、物体が挟まれたと人物体判別部 4 9 で判別した場合は、制限時間設定部 5 1 により、周辺環境への影響も考えて人が挟まれたと判別した場合よりも、制限時間を長く設定する。挟み込みによって発生した力が大きいときは、それによって起こるロボット 2 0 への影響及び挟み込まれた物体への影響が大きいと考え、力が小さいときよりも、制限時間設定部 5 1 により、制限時間を短く時間設定する。

【 0 1 1 2 】

第 2 力制御部 1 6 は、負荷トルク推定部 1 3 の出力である各関節部に外部からかかっているトルクを基に、目標角度ベクトルを算出して、関節制限部 5 4 に出力する。第 2 力制御部 1 6 は、インピーダンス制御法又はコンプライアンス制御法等の力制御手法により、目標角度ベクトルを算出する。挟み込み等により、人 9 1 がロボットアーム 2 1 に取り付けられたハンドル 2 2 にかけた力以外にロボットアーム 2 1 に外部からかけられている力を、各関節部にかかっているトルク（推定関節トルク）として負荷トルク推定部 1 3 で推定し、推定した力を基に第 2 力制御部 1 6 が目標角度ベクトルを算出して、関節制限部 5 4 に出力する。このような方法で、ロボットアーム 2 1 にかかっている負荷トルクの方にロボットアーム 2 1 が動作し、挟み込み動作が発生したときに外部からかけられた力の方向に動作する力制御が実現する。力制御を行うことにより、ロボットアーム 2 1 は、外部からかけられている力の方向に動作し、挟み込みが発生している場合は、挟み込まれた人若しくは物体から受ける力によって、挟み込みが解消される方向に動作するため、挟み込まれた人若しくは物体は挟み込み状態から脱出することが出来る。

【 0 1 1 3 】

方向別領域分類部 5 2 の内部の記憶部には、ロボットアーム 2 1 の作業領域のマップを事前に保持し、そのマップ内において、制限をかける方向を予め定めて記憶しておく。方向別領域分類部 5 2 は、エンコーダ 7 から入力された角度情報に基づき、現在位置（制御する時点での位置）の制限方向を関節制限部 5 4 に出力する。図 5 は、方向別領域分類部 5 2 で分類した作業領域の一例である。この例では、z 方向（紙面と垂直な方向）への移動は小さいものとして、所定の z 座標値における x y 平面での断面図で説明を行う。図 5 の外側の円 A と内側の円 B とに挟まれた円環状の範囲がロボットアーム 2 1 の吸着パッド 9 3 の可動範囲である。そして、作業例として、楕円形状の領域 C で搬送物体 9 2 をピックアップし、楕円形状の領域 D にある作業台 9 4 に搬送物体 9 2 を移設させる作業をロボットアーム 2 1 で行うとする。ただし、領域 D の背後（図 5 では領域 D の下側）に、外界環境の一例として壁 E が存在するとする。この場合、仮に領域 D にある作業台 9 4 と搬送物体 9 2 との間に、何らかの物体若しくは人の一部が挟まれる可能性がある。その場合でも、周辺環境である壁 E への影響を少なくするため、壁 E と搬送物体 9 2 とをできる限り衝突させたくない。（搬送物体 9 2 が壁 E に衝突しないことが、周辺環境への影響を最小

10

20

30

40

50

限にすることに相当する。)そこで、方向別領域分類部52は、領域Dを含む領域FRにおいて壁Eと搬送物体92とを衝突させないために、第1関節部24を動作禁止とする。領域FRは次の式で表現できる。なお、 X_1 は壁Eの表面沿いのx軸の座標でもある。

【0114】

【数17】

$$-X_1 \leq x \leq X_1, Y_1 \leq y \leq Y_2$$

【0115】

図5において、外側の円Aと内側の円Bとに挟まれた円環状の領域であって、領域FRと重なる領域は第1関節部24を動作禁止する制限領域(ロボットアームの動作に制限をかける領域)である。一方、外側の円Aと内側の円Bとに挟まれた円環状の領域であって、領域FRと重ならない領域は、制限時間か否にかかわらず、第1関節部24の動作は禁止とされない非制限領域(ロボットアームの動作に制限をかけない領域)である。方向別領域分類部52は、エンコーダ7から入力された角度情報に基づき、吸着パッド93が領域FR内に位置すると判断するときには、図6Aの情報を関節制限部54に出力し、吸着パッド93(ロボットアームの先端部)が領域FR以外の領域に位置すると判断するときには、図6Bの情報を関節制限部54に出力する。ただし、図6A及び図6Bにおいて、「1」は制限(動作制限)をかけることを意味し、「0」は制限(動作制限)をかけないことを意味する。

方向別領域分類部52は制限領域を含む作業領域のマップを複数保持してもよい。方向別領域分類部52は複数の制限領域を含む作業領域のマップの各々に対応する図6Aまたは図6Bに示すような動作の制限をかける方向の情報を、吸着パッド93(ロボットアームの先端部)の位置に基づいて関節制限部54に出力してもよい。ロボットアーム21の先端部に近い関節部から少なくとも1個の関節部は、制限をかけないようにしてもよい。

【0116】

関節制限部54は、方向別領域分類部52から出力された制限方向の情報を基に、第2力制御部16の出力である目標角度ベクトルのうち、制限方向の要素を更新せず、制限のない方向の要素は更新し、制限後目標角度ベクトル q_{dm} として、挟み込み時目標値加算部53に出力する。ただし、関節制限部54は、制限時間設定部51から出力された制限時間を超えた場合は、目標角度ベクトルのすべての要素を更新し、制限後目標角度ベクトル q_{dm} として、挟み込み時目標値加算部53に出力する。

【0117】

具体的な動作は、次のように実現する。

【0118】

関節制限部54は、内部の記憶部に1回前の計算周期において出力した制限後目標角度ベクトル q_{dm} を常に記憶しておく。関節制限部54は、制限時間設定部51から出力された制限時間内の場合、今回の計算周期において、制限のない方向のベクトル要素については、今回入力された目標角度ベクトルの要素をそのまま、挟み込み時目標値加算部53に出力する。制限方向のベクトル要素については、記憶しておいた制限後目標角度ベクトルの同じ要素番号のベクトル要素の値に関節制限部54で置き換えて、挟み込み時目標値加算部53に出力する。最後に、関節制限部54は、今回出力した制限後目標角度ベクトルを内部の記憶部に新しく記憶する。この関節制限部54の出力する制限後目標角度ベクトル q_{dm} に基づき(正確には、後述するように、この制限後目標角度ベクトル q_{dm} を含む情報を基に)、ロボットアーム21が動作することで、制限のかけられていない方向については、負荷トルク方向にロボットアーム21が動作し、制限のある方向については停止するという動作が実現する。関節制限部54は、制限時間設定部51から出力された制限時間外の場合、今回の計算周期において、入力された目標角度ベクトルをそのまま制限後目標角度ベクトル q_{dm} として挟み込み時目標値加算部53に出力し、出力した制限後目標角度ベクトルを内部の記憶部に新しく記憶する。この関節制限部54の出力する

制限後目標角度ベクトル $q_{d\ m}$ に基づき（正確には、後述するように、この制限後目標角度ベクトル $q_{d\ m}$ を含む情報を基に）、ロボットアーム 2 1 が動作することで、全ての方向について負荷トルクの方にロボットアーム 2 1 が動作する。

【 0 1 1 9 】

挟み込み時目標値加算部 5 3 は、関節制限部 5 4 から出力された制限後目標角度ベクトル $q_{d\ m}$ と逆運動学計算部 4 から出力された目標角度ベクトル q_d とを加算して最終角度目標値 $q_{d\ t}$ を求める。挟み込み時目標値加算部 5 3 は、求められた最終角度目標値 $q_{d\ t}$ を目標角加速度計算部 2 と角度誤差計算部 9 とに出力する。

【 0 1 2 0 】

角度誤差計算部 9 は、挟み込み時目標値加算部 5 3 から出力された目標角度ベクトル $q_{d\ t}$ とエンコーダ 7 の出力 q とが入力され、角度誤差ベクトル $q_e = q_{d\ t} - q$ を計算し、出力誤差の一例として角度誤差ベクトル q_e を角度誤差補償部 5 に出力する。

【 0 1 2 1 】

目標角加速度計算部 2 は、挟み込み時目標値加算部 5 3 が出力した目標角度ベクトル $q_{d\ t}$ が入力され、目標角加速度

【 0 1 2 2 】

【数 1 8 】

$$\ddot{q}_d$$

【 0 1 2 3 】

を求めて修正目標角加速度計算部 1 0 に出力する。

【 0 1 2 4 】

角度誤差補償部 5 は、角度誤差計算部 9 により出力される角度誤差ベクトル q_e が入力され、制御指令値の一例として角度誤差修正指令値 P_{q_e} を求めて修正目標角加速度計算部 1 0 に出力される。

【 0 1 2 5 】

修正目標角加速度計算部 1 0 は、目標角加速度計算部 2 の出力である目標角加速度

【 0 1 2 6 】

【数 1 9 】

$$\ddot{q}_d$$

【 0 1 2 7 】

と出力誤差補償部 5 の出力である角度誤差修正指令値 P_{q_e} とが入力され、制御指令値の一例として修正目標角加速度

【 0 1 2 8 】

【数 2 0 】

$$\ddot{q}_d^*$$

【 0 1 2 9 】

を目標関節トルク計算部 3 に出力する。

【 0 1 3 0 】

目標関節トルク計算部 3 は、修正目標角加速度計算部 1 0 の出力である修正目標角加速度

【 0 1 3 1 】

【数 2 1 】

$$\ddot{q}_d$$

【 0 1 3 2 】

と目標関節トルク計算部 3 の記憶部に予め記憶しているダイナミクスパラメータとから、目標関節トルク τ_d を演算し、目標関節トルク τ_d をロボット機構部 6 のモータドライバ

10

20

30

40

50

4 2 に出力する。目標関節トルク τ_d の演算方法の一例として、以下の式で目標関節トルク τ_d を算出する。

【 0 1 3 3 】

【 数 2 2 】

$$\tau_d = M(q) \cdot \ddot{q}_d^* + C(q, \dot{q}) + g(q)$$

ここで、

【 0 1 3 4 】

【 数 2 3 】

$M(q)$ 及び $C(q, \dot{q})$

10

は、それぞれ、搬送物体 9 2 及びロボット 2 0 のダイナミクスパラメータからなる係数行列であり、

【 0 1 3 5 】

【 数 2 4 】

$g(q)$

【 0 1 3 6 】

は搬送物体 9 2 及びロボット 2 0 の質量にかかる重力項である。

【 0 1 3 7 】

20

目標関節トルク τ_d は、目標関節トルク計算部 3 から D / A ボードなどの入出力 I F 4 1 を介してモータドライバ 4 2 にトルク目標値として入力され、モータドライバ 4 2 により、各関節軸に備え付けられたモータ 1 9 がそれぞれ独立して正逆回転駆動されて、ロボット機構部 6 のロボットアーム 2 1 が動作する。

【 0 1 3 8 】

ロボット機構部 6 のロボットアーム 2 1 が動作した結果、ロボットアーム 2 1 の関節角度は変化し、それらの関節角度 q を検出するエンコーダ 7 から検出した結果が、入出力 I F 4 1 を介して角度誤差計算部 9 に入力される。

【 0 1 3 9 】

以上のように、前記第 1 実施形態の前記制御装置 5 0 は、目標軌道生成部 1 と、目標角加速度計算部 2 と、目標関節トルク計算部 3 と、逆運動学計算部 4 と、角度誤差補償部 5 と、角度誤差計算部 9 と、修正角加速度計算部 1 0 と、目標軌道加算部 1 1 と、挟み込み検知部 1 2 と、第 1 力制御部 1 4 と、第 2 力制御部 1 6 と、人物体判別部 4 9 と、制限時間設定部 5 1 と、方向別領域分類部 5 2 と、挟み込み時目標値加算部 5 3 と、関節制限部 5 4 とを備えて構成している。挟み込み検知部 1 2 は、負荷トルク推定部 1 3 と、挟み込み判別部 1 5 とを備えて構成している。また、ロボット 2 0 は、ロボットアーム 2 1 で構成されるロボット機構部 6 と、エンコーダ 7 と、第 1 力検出部の一例としての力センサ 2 3 と、電流検出部 8 とを備え、モータ 1 9 のトルク制御を行うロボット 2 0 を構成する。挟み込み検知部 1 2 の働きにより、挟み込みが発生しているかどうか及び、挟み込みが発生しているときの外部からロボットアーム 2 1 に働いている力を検出し、第 2 力制御部 1 6 の働きによりロボットアーム 2 1 に働いている力に基づいてロボットアーム 2 1 を動作させる力制御を実現する。その際に、方向別領域分類部 5 2 の働きにより、吸着パッド 9 3 の位置する作業領域により動作させる方向に制限をかけ、かつ制限時間設定部 5 1 の働きにより、一定の制限時間を超えた後は、全ての方向に動作するロボット 2 0 の制御が可能となる。すなわち、挟み込み判別部 1 5 が挟み込みを判別した場合は、制限時間設定部 5 1 で設定された動作制限をかける時間内であるときは、方向別領域分類部 5 2 が、エンコーダ 7 で取得したロボットアーム 2 1 の先端部の位置情報を基に、ロボットアーム 2 1 の先端部が、方向別領域分類部 5 2 で決定された制限をかける領域に位置すると判断するときには、制限をかける関節部の動作は停止して、制限をかけない関節部の少なくとも 1 つを第 1 力制御部 1 4 によって動作制御させる。よって、ロボットアーム 2 1 の先端部に近

30

40

50

い関節部から少なくとも1個の関節部は、制限をかけないようにしている。そして、制限時間設定部51が設定された動作制限をかける時間が経過した後、制限をかける関節部の制限を解除する一方、ロボットアーム21の先端部が、方向別領域分類部52で決定された制限をかけない領域に位置すると判断するときには、いずれの関節部にも制限をかけることなく関節部を第1力制御部14によって動作制御させることができる。また、人物体判別部49の働きにより、人91が挟まれたと判別したときには制限時間を短く、人以外の物体が挟まれた判別したときには制限時間を長くする動作が可能となる。この動作により、挟み込みが発生したときには、まず、吸着パッド93で保持する搬送物体92が周辺環境等に衝突しない範囲で力制御を実現することで、挟み込まれた人若しくは物体が挟み込み状態から脱出出来る方向に動作することが出来る。ただし、搬送物体92が周辺環境等に衝突しない作業範囲でのロボットアーム21の動作では挟み込み状態から脱出出来ない場合は、制限時間以降は全ての関節部が動作しての力制御が実現されるので、挟み込まれた人若しくは物体からロボットアーム21にかかる力の方向にロボットアーム21は動作し、挟み込み状態から脱出することが可能となる。また、人への安全性を考え、人が挟み込まれたと判別した場合は、制限時間を短くすることで、物体が挟み込まれたときよりも、より短い時間で人が確実に挟み込み状態から脱出することが可能となる。例えば、制限時間設定部51は、第2の力検出部が検出した外力(第2の力情報)が大きいほど、制限時間を短くすることもできる。

【0140】

(第2実施形態)

図7は、本開示の第2実施形態にかかるロボット20の制御装置50及び制御対象であるロボット20の一部を示すブロック図である。第1実施形態は、ロボットアーム21の動作に制限をかける領域か又は動作に制限をかけない領域かの情報(制限情報)を事前に記憶しているのに対して、第2実施形態は、そのような情報を事前に持たずに、動作制御時に取得した情報から制限情報を生成するものである。

【0141】

ロボット20の制御装置50は、目標軌道生成部1と、目標角加速度計算部2と、目標関節トルク計算部3と、逆運動学計算部4と、角度誤差補償部5と、角度誤差計算部9と、修正角加速度計算部10と、目標軌道加算部11と、挟み込み検知部12と、第1力制御部14と、第2力制御部16と、人物体判別部49と、制限時間設定部51と、領域分類部の別の例としての第2領域分類部55と、挟み込み時目標値加算部53と、関節制限部54とを備えて構成している。

【0142】

挟み込み検知部12は、負荷トルク推定部13と、挟み込み判別部15とを備えて構成している。

【0143】

また、ロボット20は、ロボットアーム21で構成されるロボット機構部6と、エンコーダ7と、電流検出部8と、第1力検出部の一例である力センサ23とを備えて構成している。また、制御装置50に対しては、エンコーダ7で計測されたロボット20からの関節角度情報と、力センサ23で計測された第1の力情報(力ベクトルF)とが入力される。この第1の力情報は、人91がハンドル22を介してロボットアーム21にかけた力である。

【0144】

人物体判別部49は、挟み込み信号が入力されてから予め事前に実験等で定めた時間後(例えば0.5秒後)から、さらに一定時間後(例えば1秒後)までの第2の力情報の最大値と最小値との差が、事前に決めた閾値以上に大きいときは、人91が挟み込まれていると判別し、前記差が、閾値よりも小さいときは、人ではない物体が挟み込まれていると判別する。これは、人が挟み込まれた場合、ロボットアーム21の関節部が、ある程度の範囲内で動作するため、ロボットアーム21にかかる力は変動するが、物体が挟み込まれた場合は、ロボットアーム21にかかる力は変動しないと考えられるためである。

【 0 1 4 5 】

図 1 0 A 及び図 1 0 B を基に、具体的に説明する。図 1 0 A は、人が挟み込まれていると判別される例である。 $t = 0$ の時刻において挟み込み信号が入力されるため、人物体判別部 4 9 は、 $t = 0.5$ から $t = 1.5$ までの第 2 の力情報のうち、最大値 n_2 と最小値 n_1 との差を求める。この差が、事前に決めた人判別用第 2 閾値以上であるため、人が挟み込まれていると人物体判別部 4 9 で判別する。人が挟み込まれていると判別したときは、人物体判別部 4 9 から人判別信号を制限時間設定部 5 1 に出力する。

【 0 1 4 6 】

図 1 0 B は、物体が挟み込まれていると判別される例である。 $t = 0$ の時刻において挟み込み信号が入力されるため、人物体判別部 4 9 は、 $t = 0.5$ の時刻から $t = 1.5$ の時刻までの第 2 の力情報のうち、最大値 n_2 と最小値 n_1 との差を求める。この差が事前に決めた閾値よりも小さいため、物体が挟み込まれていると判別する。物体が挟み込まれていると人物体判別部 4 9 で判別したときは、人物体判別部 4 9 から物体判別信号を制限時間設定部 5 1 に出力する。なお、図 1 0 A 及び図 1 0 B において、図 4 A 及び図 4 B と同様に、 n は挟み込みが発生している関節部番号、 n_2 は $t = 0.5$ の時刻での推定関節トルク、 n_1 は $t = -1$ の時刻での推定関節トルク、 q_{n_2} は $t = 0.5$ の時刻でエンコーダ 7 より出力される関節角度、 q_{n_1} は $t = -1$ の時刻でエンコーダ 7 より出力される関節角度である。

【 0 1 4 7 】

第 2 領域分類部 5 5 は、エンコーダ 7 から入力される角度情報に基づき、ロボットアーム 2 1 の手先速度（先端部の動作速度）を算出し、算出した手先速度に応じて、制限をかける領域か又は制限をかけない領域かを分類し、関節制限部 5 4 に出力する。手先速度の算出は、エンコーダ 7 から第 2 領域分類部 5 5 に入力される角度情報とロボットアーム 2 1 の幾何学情報とに基づき、手先（吸着パッド 9 3）の位置を第 2 領域分類部 5 5 で算出し、算出した位置情報を第 2 領域分類部 5 5 で微分することで得られる。

【 0 1 4 8 】

図 8 を用いて、第 2 領域分類部 5 5 の動作について説明する。図 8 において、この例では、 z 方向への移動は小さいものとして、動作の中心となる z の値での $x-y$ 平面での断面図で説明を行う。図 8 の外側の円 A と内側の円 B とに挟まれた円環状の範囲が、ロボットアーム 2 1 の手先にある吸着パッド 9 3 の可動範囲である。そして、作業例として、楕円形状の領域 C で搬送物体 9 2 をピックアップし、楕円形状の領域 D にある作業台 9 4 に搬送物体 9 2 を移設させる作業をロボットアーム 2 1 で行うとする。

ただし、領域 D の左右及び背後（図 5 では領域 D の左右両側及び下側）に、外界環境として壁 E が存在するとする。ある作業において、ロボットアーム 2 1 の手先位置が点 a から点 b に移動すると仮定し、このときの手先位置の経路を実線で示す。人 9 1 は、点 a において搬送物体 9 2 をピックアップして搬送物体 9 2 の搬送を開始するが、点 a から点 d までの移動経路の周辺に特に障害物はないため、ロボットアーム 2 1 の手先は比較的早い速度で点 a から点 d に向けて移動し、点 d に近づく。点 d に近づいた位置で、搬送物体 9 2 と壁 E とが衝突することなく、点 b に搬送物体 9 2 を近づけるためにロボットアーム 2 1 の手先は速度を落とし、点 b まで移動する。この作業の間、第 2 領域分類部 5 5 は、エンコーダ 7 から入力される角度情報から、ロボットアーム 2 1 の手先位置及びその位置を通過するときの手先速度を計算する。第 2 領域分類部 5 5 は、計算して求めた手先速度が予め事前に決められた速度の閾値以上に早いときは、その位置の制限情報を「0」（制限をかけない）と分類し、計算して求めた手先速度が速度の閾値よりも遅いときは、その位置の制限情報を「1」（制限をかける）と分類する。図 9 は、第 2 領域分類部 5 5 の、より具体的な分類の一例である。時刻 $t = t_n$ においてロボットアーム 2 1 の手先は図 8 の点 d を通過し、人 9 1 はロボットアーム 2 1 の操作速度を遅くした結果、時刻 $t = t_n$ までの速度では制限がかからず、制限情報としては「0」を第 2 領域分類部 5 5 から関節制限部 5 4 に出力する。また、時刻 t_{n+1} 以降では、ロボットアーム 2 1 の手先の速度が早いいため、制限情報としては「1」を出力する。

10

20

30

40

50

【 0 1 4 9 】

関節制限部 5 4 は、制限をかける関節部（動作を停止させる関節部）の情報と制限をかける関節部（動作させる関節部）の情報とを内部の記憶部に事前に記憶しておき、制限時間設定部 5 1 から出力された制限時間内の場合、第 2 力制御部 1 6 の出力である目標角度ベクトルのうち、制限方向の要素を更新せず、制限のない方向の要素は更新し、制限後目標角度ベクトル q_{d_m} として挟み込み時目標値加算部 5 3 に出力する。ただし、関節制限部 5 4 は、制限時間設定部 5 1 から出力された制限時間を超えた場合は、目標角度ベクトルのすべての要素を更新し、制限後目標角度ベクトル q_{d_m} として挟み込み時目標値加算部 5 3 に出力する。また、関節制限部 5 4 は、第 2 力制御部 1 6 から目標角度ベクトルが入力され始めた時刻、すなわち、挟み込み判別部 1 5 によって挟み込みが発生したと判別された時刻において、第 2 領域分類部 5 5 から入力された制限情報が「0」の場合は、制限時間設定部 5 1 から出力された制限時間にかかわらず、目標角度ベクトルのすべての要素を更新し、制限後目標角度ベクトル q_{d_m} として挟み込み時目標値加算部 5 3 に出力する。関節制限部 5 4 は、制限情報が「1」の場合は、関節部に制限をかける領域を意味するため、制限時間内は、制限をかける関節部の要素は更新せず、制限のない方向の要素は更新し、制限後目標角度ベクトル q_{d_m} として挟み込み時目標値加算部 5 3 に出力する。

10

【 0 1 5 0 】

制限をかける具体的な動作は、第 1 実施形態と同様である。

【 0 1 5 1 】

制限をかける関節部と制限をかけない関節部とは、以下のように、関節制限部 5 4 において事前に決めておく。関節制限部 5 4 において、制限をかける関節部は、その関節部が動作することでロボットアーム 2 1 の手先の移動距離が大きいのものから順に、数個を、制限のかかる関節部群とし、残りの関節部を制限のかからない関節部群とする。例えば、図 2 に示したロボットアーム 2 1 の場合、同じ 10 度回転動作を行うと、第 1 関節部 2 4 が最も手先の移動距離が大きくなり、順に、第 2 関節部 2 5、第 3 関節部 2 6、第 4 関節部 2 7 と続く。そこで、関節制限部 5 4 は、第 1 関節部 2 4、第 2 関節部 2 5、第 3 関節部 2 6 を制限のかかる関節部に分類し、それ以外の関節部を制限のかからない関節部に分類して、内部の記憶部に記憶する。逆に言えば、ロボットアーム 2 1 の先端部に近い関節部から少なくとも 1 個の関節部は、制限をかけないようにしている。

20

30

【 0 1 5 2 】

以上のように、前記第 2 実施形態の前記制御装置 5 0 は、目標軌道生成部 1 と、目標角加速度計算部 2 と、目標関節トルク計算部 3 と、逆運動学計算部 4 と、角度誤差補償部 5 と、角度誤差計算部 9 と、修正角加速度計算部 10 と、目標軌道加算部 11 と、挟み込み検知部 12 と、第 1 力制御部 14 と、第 2 力制御部 16 と、人物体判別部 49 と、制限時間設定部 51 と、第 2 領域分類部 55 と、挟み込み時目標値加算部 53 と、関節制限部 54 とを備えて構成している。挟み込み検知部 12 は、負荷トルク推定部 13 と、挟み込み判別部 15 とを備えて構成している。また、ロボット 20 は、ロボットアーム 21 で構成されるロボット機構部 6 と、エンコーダ 7 と、第 1 力検出部の一例としての力センサ 23 と、電流検出部 8 とを備え、モータ 19 のトルク制御を行うロボット 20 を構成する。挟み込み検知部 12 の働きにより、挟み込みが発生しているかどうか及び、挟み込みが発生しているときの外部からロボットアーム 21 に働いている力を検出し、第 2 力制御部 16 の働きによりロボットアーム 21 に働いている力に基づいてロボットアーム 21 を動作させる力制御を実現する。その際に、領域分類部 52 の働きにより、制限をかける領域を予め決定していなくても、直前の作業速度（例えば、ロボットアーム 21 の手先の速度）により、制限をかける領域か、制限をかけない領域かを第 2 領域分類部 55 により決定でき、制限をかける領域では、動作させる方向に制限をかけ、かつ制限時間設定部 51 の働きにより、一定の制限時間を超えた後は全ての方向に動作するロボットアーム 21 の制御が可能となる。また、人物体判別部 49 の働きにより、人が挟まれたときには制限時間を短く、人以外の物が挟まれたときには制限時間を長くする動作が可能となる。この動作によ

40

50

り、挟み込みが発生したときには、まず、吸着パッド93で保持する搬送物体92が周辺環境等に衝突しない範囲で力制御を実現することで、挟み込まれた人若しくは物体が挟み込み状態から脱出出来る方向に動作することが出来る。ただし、搬送物体92が周辺環境等に衝突しない作業範囲でのロボットアーム21の動作では挟み込み状態から脱出出来ない場合は、制限時間以降は全ての関節部が動作しての力制御が実現されるので、挟み込まれた人若しくは物体からロボットアーム21にかかる力の方向にロボットアーム21は動作し、挟み込み状態から脱出することが可能となる。また、人への安全性を考え、人が挟み込まれたと判別した場合は、制限時間を短くすることで、物体が挟み込まれたときよりも、より短い時間で人が確実に挟み込み状態から脱出することが可能となる。第2領域分類部55が直前の作業状態から周辺環境への影響を推定し、制限をかける範囲(領域)が

10

【0153】

前記第1実施形態及び第2実施形態では、一例として6軸のロボットアーム21を例に説明を行ったが、これに限られるわけではない。

【0154】

前記第1実施形態及び第2実施形態では、一例として第2の力検知手段をモータ電流からの推定を例に説明を行ったが、これに限られるわけではなく、例えば各関節軸にトルクセンサを備えてもよいし、その他の推定手段を用いてもよい。

【0155】

作業例としては、搬送作業以外に、手先に工具を取り付けて、組立作業又は加工作業などを行う場合も、本開示を適用することができる。

【0156】

なお、本開示を第1実施形態及び第2実施形態及び変形例に基づいて説明してきたが、本開示は、前記の第1実施形態及び第2実施形態及び変形例に限定されないのはもちろんである。以下のような場合も本開示に含まれる。

【0157】

前記制御装置50の一部又は全部は、具体的には、マイクロプロセッサ、ROM、RAM、ハードディスクユニット、ディスプレイユニット、キーボード、マウスなどから構成されるコンピュータシステムである。前記RAM又はハードディスクユニットには、コンピュータプログラムが記憶されている。前記マイクロプロセッサが、前記コンピュータプログラムにしたがって動作することにより、各部は、その機能を達成する。ここでコンピュータプログラムは、所定の機能を達成するために、コンピュータに対する指令を示す命令コードが複数個組み合わせられて構成されたものである。

【0158】

例えば、ハードディスク又は半導体メモリ等の記録媒体に記録されたソフトウェア・プログラムをCPU等のプログラム実行部が読み出して実行することによって、各構成要素が実現され得る。

【0159】

なお、前記実施形態又は変形例における制御装置を構成する要素の一部又は全部を実現するソフトウェアは、以下のようなプログラムである。つまり、このプログラムは、コンピュータに、

複数の関節部を有するロボットアームの前記先端部に人が直接力を掛けて、位置情報取得部で取得した前記ロボットアームの先端部の位置情報に基づき前記ロボットアームを動作制御させる力制御部と、

前記人が前記ロボットアームにかけている力を検出する第1の力検出部と、

前記第1の力検出部で検出した力を基に、前記ロボットアームと外界環境との間に前記人若しくは物体が挟まれたことを判別する挟み込み判別部と、

前記第1の力検出部で力を検出したときに、動作の制限をかけない関節部と、動作の制限をかける関節部とを決定する関節制限部と、

10

20

30

40

50

前記ロボットアームの前記先端部の動作する領域を、前記ロボットアームの動作に制限をかける領域と、制限をかけない領域とに分類する領域分類部と、

前記動作の制限をかける時間を設定する制限時間設定部と、
として機能させるとともに、

前記挟み込み判別部が挟み込みを判別した場合、前記制限時間設定部で設定された前記動作制限をかける時間内であるときは、前記領域分類部が、前記位置情報取得部で取得した前記ロボットアームの前記先端部の前記位置情報を基に、前記ロボットアームの前記先端部が、前記領域分類部で決定された前記制限をかける領域に位置すると判断するときには、前記制限をかける関節部の動作は停止して、前記制限をかけない関節部の少なくとも1つを前記力制御部によって動作制御させ、前記制限時間設定部が設定された前記動作制限をかける時間が経過した後、前記制限をかける関節部の制限を解除する一方、前記ロボットアームの前記先端部が、前記領域制限部で決定された前記制限をかけない領域に位置すると判断するときには、いずれの関節部にも制限をかけることなく前記関節部を前記力制御部によって動作制御させるように機能させる、多関節ロボットの制御プログラムである。

10

【0160】

また、このプログラムは、サーバなどからダウンロードされることによって実行されてもよく、所定の記録媒体（例えば、CD-ROMなどの光ディスク、磁気ディスク、又は、半導体メモリなど）に記録されたプログラムが読み出されることによって実行されてもよい。

20

【0161】

また、このプログラムを実行するコンピュータは、単数であってもよく、複数であってもよい。すなわち、集中処理を行ってもよく、あるいは分散処理を行ってもよい。

【0162】

なお、前記様々な実施形態又は変形例のうちの任意の実施形態又は変形例を適宜組み合わせることにより、それぞれの有する効果を奏するようにすることができる。

【産業上の利用可能性】

【0163】

本開示のロボット、ロボットの制御装置及び制御方法、並びに、ロボット用制御プログラムは、人と協働して作業をアシストするパワーアシスト型のロボット、ロボットの制御装置及び制御方法、並びに、ロボット用制御プログラムとして有用である。

30

【符号の説明】

【0164】

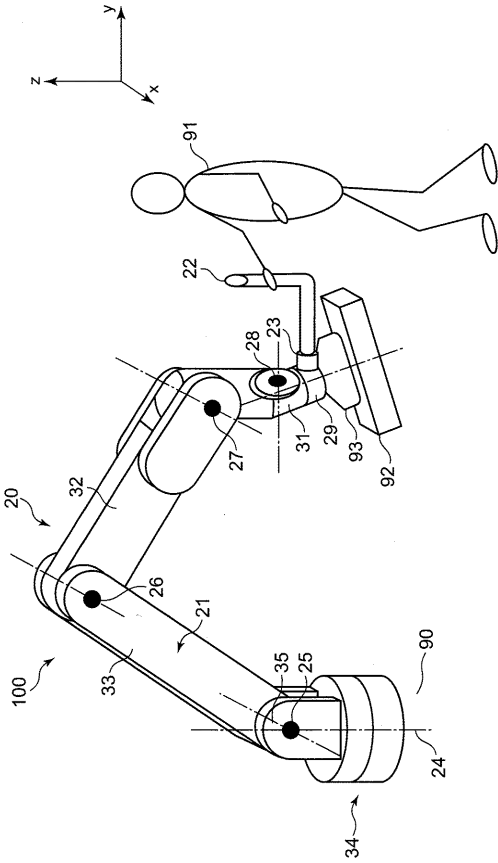
- 1 目標軌道生成部
- 2 目標角加速度計算部
- 3 目標関節トルク計算部
- 4 逆運動学計算部
- 5 角度誤差補償部
- 6 ロボット機構部
- 7 エンコーダ
- 8 電流検出部
- 9 角度誤差計算部
- 10 修正目標角加速度計算部
- 11 目標軌道加算部
- 12 挟み込み検知部
- 13 負荷トルク推定部
- 14 第1力制御部
- 15 挟み込み判別部
- 16 第2力制御部
- 19 モータ

40

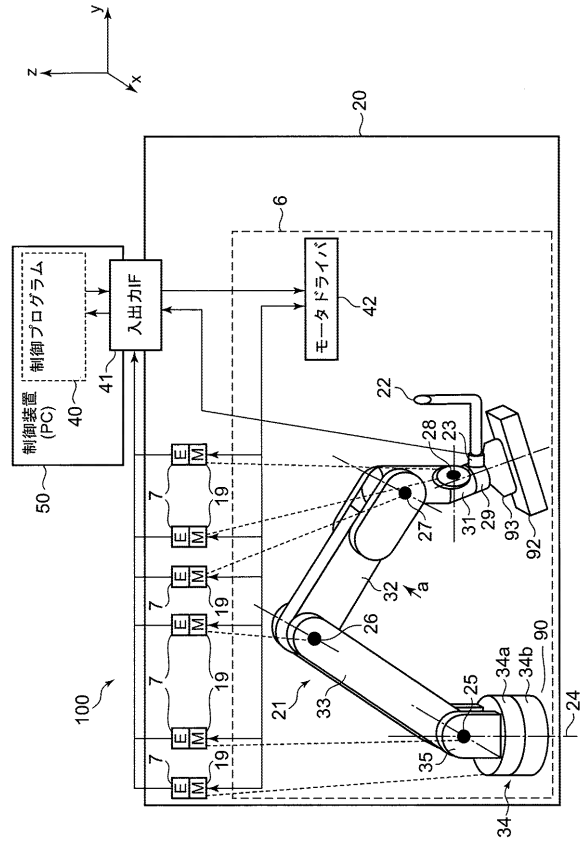
50

2 0	ロボット	
2 1	ロボットアーム	
2 2	ハンドル	
2 3	第 1 力検出部	
2 4	第 1 関節部	
2 5	第 2 関節部	
2 6	第 3 関節部	
2 7	第 4 関節部	
2 8	第 5 関節部	
2 9	第 6 関節部	10
3 1	手首部	
3 2	第 2 リンク	
3 3	第 1 リンク	
3 4、3 4 a、3 4 b	台部	
3 5	第 2 関節支柱	
4 0	制御プログラム	
4 1	入出力 I F	
4 2	モータドライバ	
4 9	人物体判別部	
4 9 m	記憶装置	20
5 0	人物体判別部	
5 1	制限時間設定部	
5 2	方向別領域分類部 (第 1 領域分類部)	
5 3	挟み込み時目標値加算部	
5 4	関節制限部	
5 5	第 2 領域分類部	
6 0	リンク	
6 1	関節軸 (回転中心)	
6 2	挟み込み物体	
9 0	床	30
9 1	人	
9 2	搬送物体	
9 3	吸着パッド	
9 4	作業台	
9 5	周辺物体	
1 0 0	ロボットシステム	
A	外側の円	
B	内側の円	
C	楕円形状の領域	
D	楕円形状の領域	40
E	外界環境の一例としての壁	
F R	領域	

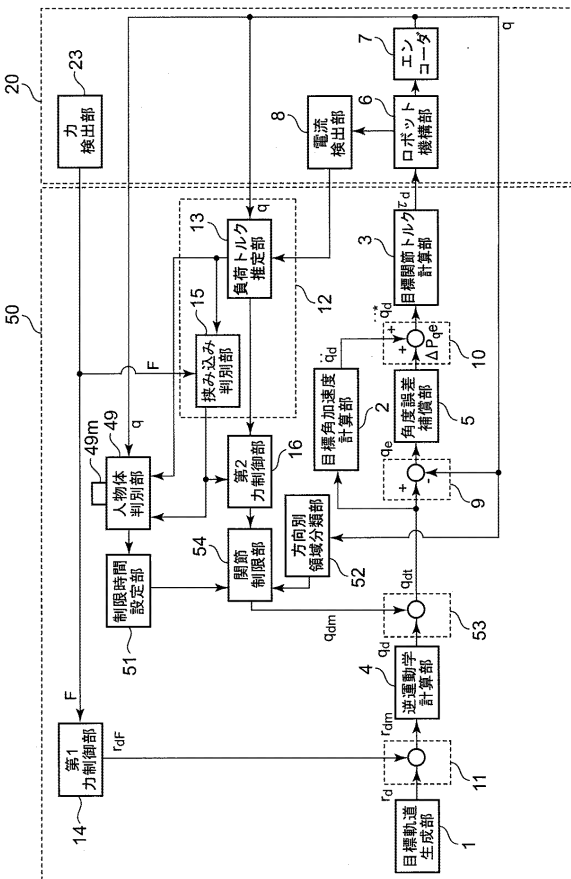
【図1】



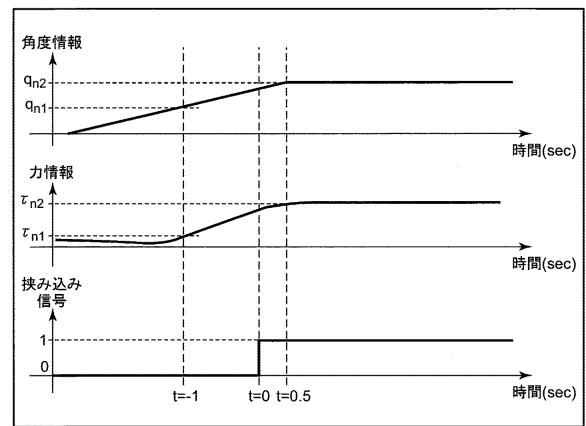
【図2】



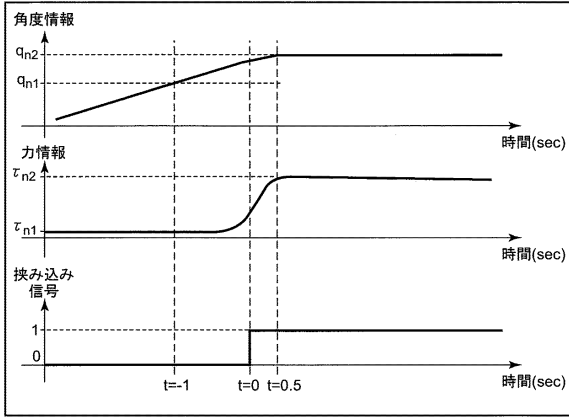
【図3】



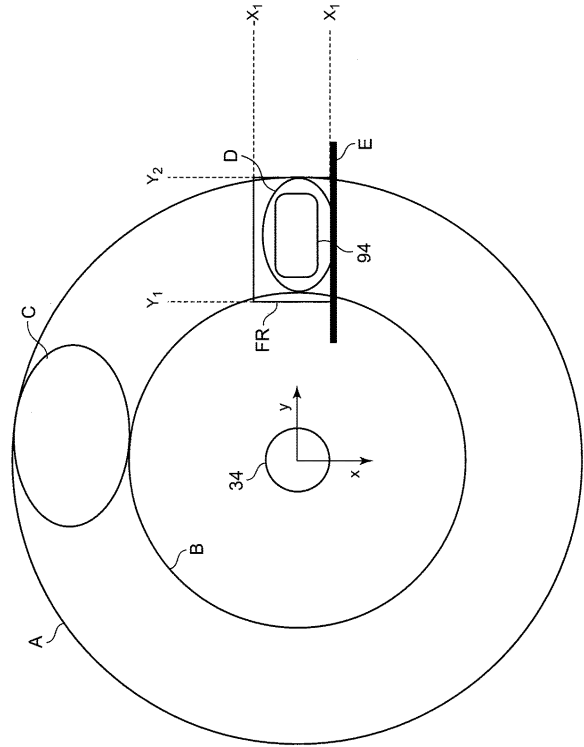
【図4A】



【図4B】



【図5】



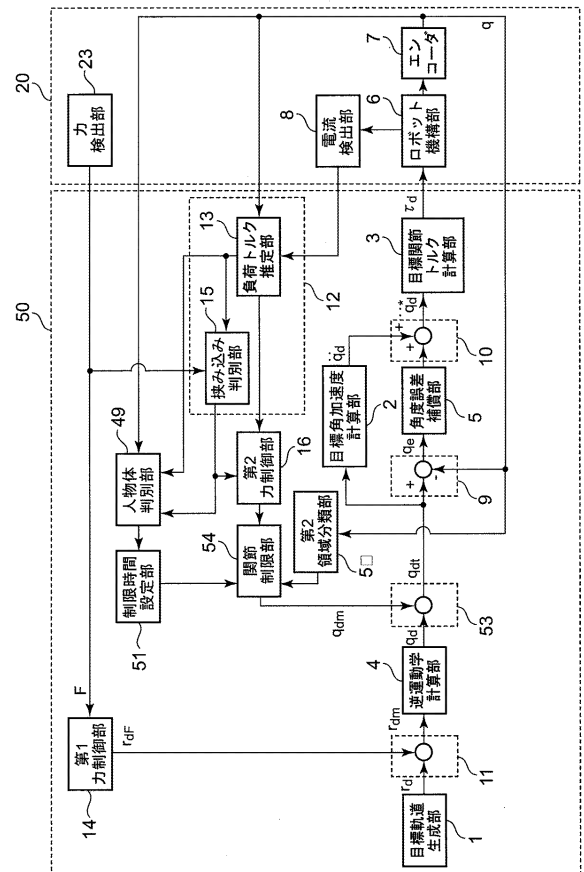
【図6A】

第1関節		第2関節		第3関節		第4関節		第5関節		第6関節	
+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

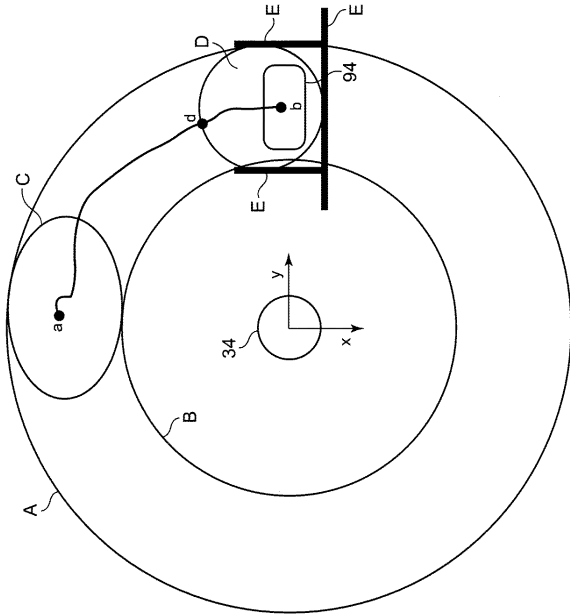
【図6B】

第1関節		第2関節		第3関節		第4関節		第5関節		第6関節	
+	-	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

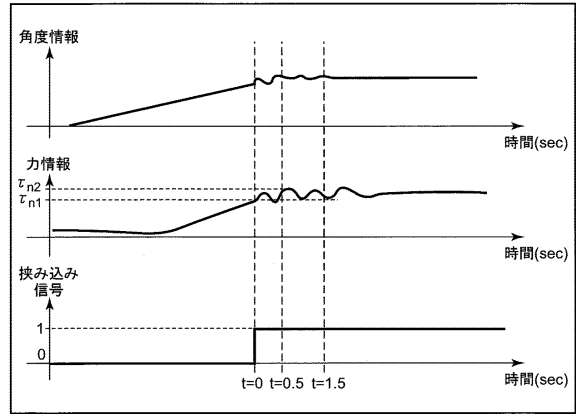
【図7】



【図 8】



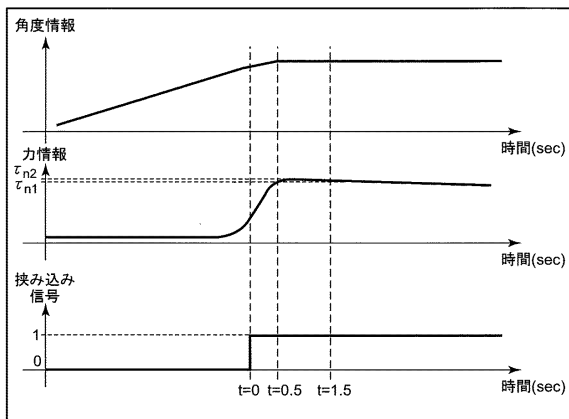
【図 10 A】



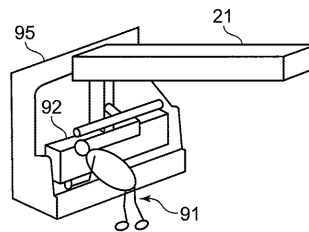
【図 9】

時刻	t_0	t_1	t_2	...	t_n	t_{n+1}	t_{n+2}	t_{n+3}
位置	x_0	x_1	x_2	...	x_n	x_{n+1}	x_{n+2}	x_{n+3}
	y_0	y_1	y_2	...	y_n	y_{n+1}	y_{n+2}	y_{n+3}
	z_0	z_1	z_2	...	z_n	z_{n+1}	z_{n+2}	z_{n+3}
速度	ω_0	ω_1	ω_2	...	ω_n	ω_{n+1}	ω_{n+2}	ω_{n+3}
制限領域	0	0	0	...	0	1	1	1

【図 10 B】



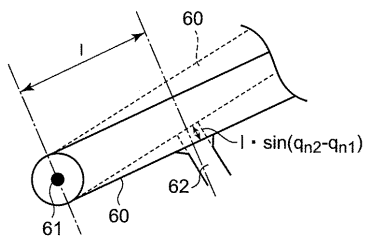
【図 12】



【図 13】

		制限時間(sec)	
		物体	人
挟み込み力	大	3	1
	小	5	2

【図 11】



フロントページの続き

審査官 白井 卓巳

- (56)参考文献 特開2001-287190(JP,A)
特開2000-218589(JP,A)
特開2000-006065(JP,A)
特開2004-174644(JP,A)
特開平11-277483(JP,A)
特開2004-223663(JP,A)
米国特許出願公開第2014/0163735(US,A1)
米国特許出願公開第2010/0145515(US,A1)

(58)調査した分野(Int.Cl., DB名)

B25J 9/16 - 19/06
G05B 19/04